

PROJET

AIRFRANCEKLM
GROUP



Soutenance du 13-04-2026

Projet : DPM - Air France KLM Group

Equipe : Nicolas CALO, Manuel DESPLANCHES, Laura MARAJO

Présentons-nous !



Nicolas CALO



Manuel DESPLANCHES



Laura MARAJO

Contexte

Dans un secteur où le retard des avions impacte directement l'expérience passager et les opérations aéroportuaires, anticiper ces perturbations devient un enjeu stratégique.

Besoin

Proposer une solution data permettant d'améliorer la gestion opérationnelle dans le transport aérien



MÉTHODOLOGIE

1

Discovery

2

Conception

3

Lancement

01

DISCOVERY

Nous avons exploré en profondeur l'écosystème de données de la compagnie. Cette phase nous a permis d'aligner les besoins métiers critiques avec la réalité technique, transformant des hypothèses complexes en opportunités data actionnables.



Partenaires

- **Gestionnaires de Hub :** Groupe ADP et Schiphol, indispensables à la fluidité opérationnelle et aux créneaux de décollage (slots)
- **Gestion du trafic aérien :** Eurocontrol / ATC , Aiguilleurs du ciel : flux de données du trafic en temps réel.
- **Services au Sol (Handing) :** agents d'escale, bagagiste,..
- **Maintenance aéronotique**
- **Technologie :** Amadeus (distribution)Fournisseurs Cloud (hébergement) SITA (réseau informatique aéroportuaire).

Activités clés

- Transport de passagers
- Transport de Cargo
- Maintenance d'avions
- Ventes de Miles (Flying blue)

Ressources

- **Physique :** Flotte aérienne
- **Opérationnel :** Double Hub Paris et Amsterdam
- **Humain :** Expertise maintenance et pilotage
- **Technologie :** Système IT

Propositions de valeurs

- **Connectivité Mondiale :** Accès à un réseau vaste via les hubs de Paris-CDG et Amsterdam-Schiphol grâce aux 3 compagnies : Air France, KLM, Transavia
- **Excellence Opérationnelle & Ponctualité**
- **Expérience Client Premium :** Qualité de service, confort à bord.
- **Programme de Fidélité Avancé :** Récompenses et reconnaissance via Flying Blue.
- **Expertise technique aéronotique :** Maintenance de la flotte en interne

Relations clients

- Service client omnicanal
- Programme de fidélité
- Conseillers virtuels

Distribution

- Site web & App mobile
- Agence de voyage d'affaires dédié aux entreprises (TMC : travel Management compagnies)
- Salon Lounge
- Equipes support "Corporate"

Segments clients

- **Voyageurs Loisirs (B2C) :** Individus, couples ou famille
- **Voyageurs d'affaires et clients entreprises (B2B & B2B2C) :** Professionnels individuels, Grands comptes et PME.
- **Voyageurs VFR (Visiting Friends and Relatives) :** Individus rendant visite à des amis et à des proches ren particulier sur les liaisons reliant l'Europe à des régions comme l'Afrique et les Caraïbes.

Sources de revenus

- Transport de passagers (74%)
- Maintenance d'avions (17%)
- Transport de Cargo (6%)
- Ventes de Miles (Flying blue) (3%)

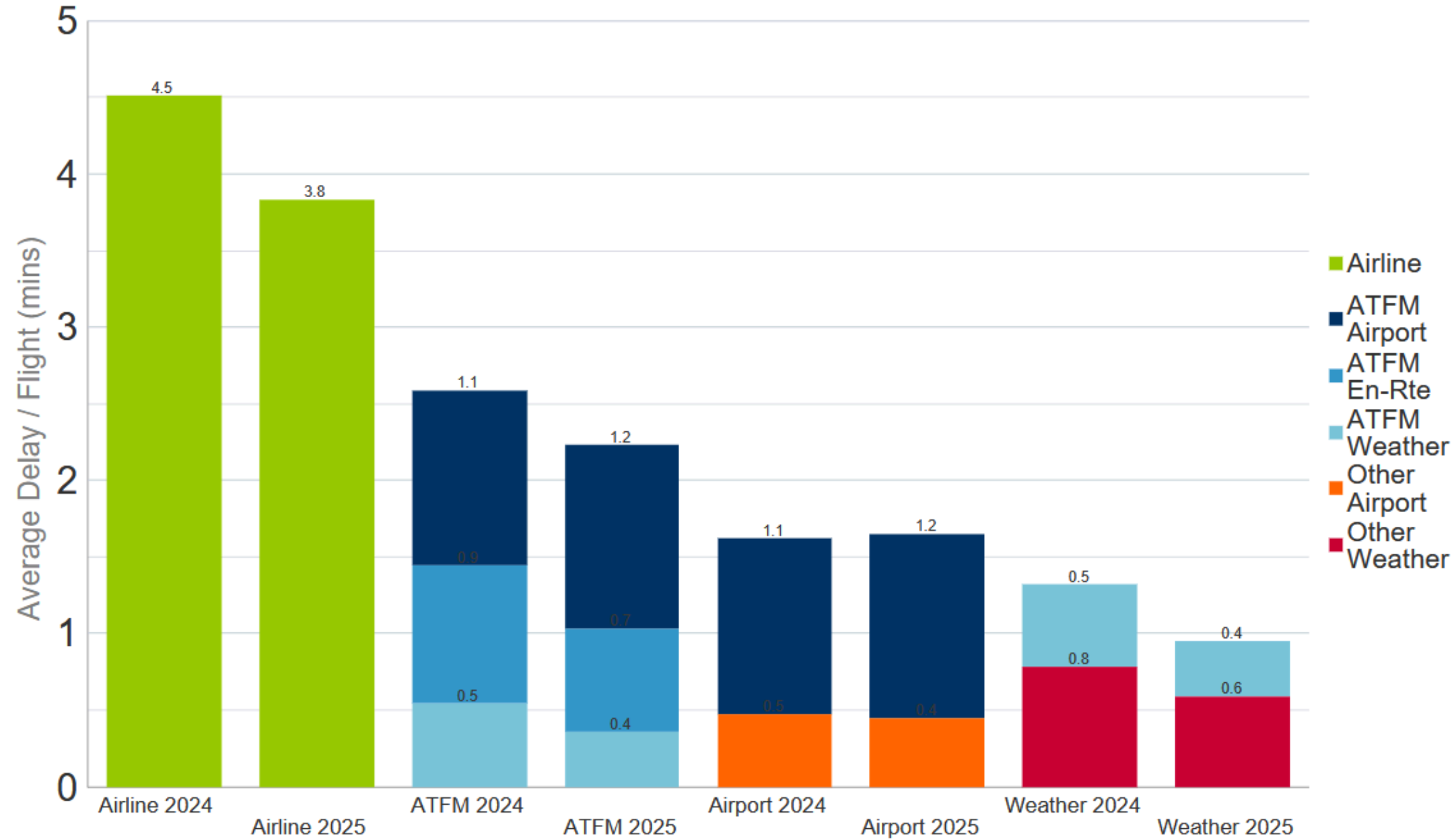
Structure de coûts

- Carburant avions (30%)
- Quotas de CO2 (20%)
- Affrètements aéronautiques (11%)
- Redevances aéronautiques (9%)
- Commissariat (7%)

Coûts de retards annuels estimés par Booz Allen et Hamilton : €100-400 millions

Quelques chiffres

Grouped Departure Delay Causes - December 2025



Les principaux problèmes de retards de vols sont liés à des causes internes aux compagnies aériennes.

sources : <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-european-aviation-overview-archive-2025>



MARC

Responsable du Hub
Control Center (HCC)

Description

Vétéran de l'aérien avec 15 ans d'expérience. Il ne gère pas des avions, il gère des flux. Son bureau est une tour de contrôle remplie d'écrans. C'est un profil "haute pression" qui doit prendre des décisions critiques toutes les 5 minutes.

Besoin

- **Visibilité du trafic**
- **Aide à la décision**
- **Alertes intelligentes** : Être notifié uniquement quand une perturbation impacte un "chemin critique"

Motivation

- Une journée sans accroc
- Le bien-être de ses équipes
- L'efficacité des ressources
- La réputation du Hub

Frustration

Manque de visibilité en temps réel pour la prise de décision.



Il est 19h et Marc a finit sa journée. Il dû gérer 5 retards de vols importants dû à un enchainements de problèmes opérationnels : manque d'effectifs, ...



Action

- Analyse du plan de vol.
- Revue des effectifs
- Vérification météo/ATC.

2. Surveillance Opérationnelle

Monitoring temps réel des Turnaround Times (TAT) : temps au sol d'un avion

3. Détection de Perturbation (Alerte)

Réception d'une alerte prédictive (ex: Vol AF1234 à H+45min), Analyse d'impact portes/passagers,

4. Gestion de Crise & Décision

- Simulation de scénarios "What-if"
- Envoi d'instructions terrain

5. Analyse & Clôture

- Rédaction du rapport de journée,
- Remontée des incidents majeurs

Points de contact

Dashboard HCC (Hub Control Center)

Écrans monitoring, Radio, Tracking bagages,

Interface Prédictive (Solution Data), Notifications,

Radio, écrans aéroports, comptoirs de service, zone d'embarquement

Dashboard KPI

Problèmes

- Données historiques imprécises
- Incertitude météo,
- Absentéisme dans les équipes
- Pannes matérielles

Manque de visibilité sur les retards pour organiser ses équipes

Retard en cascade (effet domino)

- Communication entre les prestataires
- Coordination manuelle lente



ou



Opportunités

Visibilité à H+6 pour ajuster les ressources en amont

Flux de données unifié et partagé

Identification proactive des "chemins critiques"

Recommandations prescriptives

Calcul automatique du ROI



SOPHIE

Voyageuse d'affaire

Directrice Commerciale
Internationale - Groupe L'Oréal

Description

Femme de décision, Sophie gère des budgets de plusieurs millions d'euros et ses déplacements sont des investissements, Air France n'est pas qu'un transporteur, mais son partenaire de productivité.

- **Fréquence de vol** : 2 à 3 allers-retours par mois (Moyen et Long-courrier)
- **Classe de voyage** : Business
- **Fidélité** : Flying Blue Platinum

Besoin

- **Priorité de l'information en cas d'aléas**
- **Priorité des solutions de reclassement**
- **Continuité de travail** : accès lounge, wifi
- **Experience personnalisée** en vol

Frustration

**Insatisfaction client
sur la prise en charge voyageur**

Motivation

- Optimiser son temps
- Service privilégié
- Fiabilité et confiance en la compagnie



Lucie, annule mon repas de midi avec le client et fait passer le meeting de 15h en visio. L'avion a 5h de retard.



	1. Planification & Réservation	2. Arrivée à l'aéroport & Enregistrement	3. Annonce du retard	4. Embarquement (attente)	5. A bord de l'avion	6. Arrivée à destination
Action	<ul style="list-style-type: none"> Réserve via le SBT de l'entreprise vérifie sa réservation S'enregistre 	<ul style="list-style-type: none"> Arrivée en taxi à l'aéroport Dépose une valise Passé la PAF (Police aux frontières) 	<ul style="list-style-type: none"> Utilise la ligne SkyPriority. Contacte le salon ou le support dédié 	<ul style="list-style-type: none"> S'installe au Lounge. Tente de travailler/appeler son client 	<ul style="list-style-type: none"> Réembarque ou change de vol. Évalue son niveau de satisfaction 	<ul style="list-style-type: none"> Fait une réclamation
Points de contact	<ul style="list-style-type: none"> Interface SB App Air France, Email 	<ul style="list-style-type: none"> Borne libre-service File SkyPriority Scan passeport 	<ul style="list-style-type: none"> App Air France / SMS 	<ul style="list-style-type: none"> Salon Business / Wi-Fi 	<ul style="list-style-type: none"> Porte d'embarquement App 	<ul style="list-style-type: none"> Site web Service client.
Problèmes	<ul style="list-style-type: none"> Choix des vols limités (politique l'entreprise) options manquantes sur SBT Modifications difficiles 	Ne pas connaître le temps d'attente aux contrôles en temps réel	<ul style="list-style-type: none"> Files d'attente interminables Manque de visibilité sur le retard 	<ul style="list-style-type: none"> Manque de visibilité sur le retard Salon bondé 	<ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi instable, manque de prises 	<ul style="list-style-type: none"> Manque de reconnaissance Formulaire de réclamation complexe
						ou
Opportunités				Notifications prédictive : option de réservation sur un autre vol		



JEANNE

**Chief Financial Officer
(CFO) du groupe Air France
KLM**

Description

Jeanne est responsable de la gestion des finances du groupe Air France KLM. Elle supervise le budget, les risques financiers, la comptabilité, la production de rapports et de prévisions financières pour le groupe et la stratégie financière du groupe à long terme

Besoin

- **Remontée des données** de retards effectifs
- **Provisionner au semestre** le budget des coûts liés au retard
- **Dashboard de suivi** et génération de rapports financiers

Motivation

- Fournir des données fiables
- Optimiser les budgets et ressources
- La bonne santé financière de l'entreprise

Frustration

**Difficulté à
provisionner les coûts**



De par nos données historiques et avec une approche conservative, nous tablons sur des frais UE261 pour cette années à hauteur de...



Action

1. Récupération des informations du dernier semestre

- Récupération de l'historique des pénalités financières
- Récupération des prévisions de fluctuation du volume de l'activité de vols

2. Estimation des pertes et profits pour le semestre à venir

- Prévion des frais de retard de vol
- Prévion du CA en fonction des prévisions de croissance

3. Publication du rapport financier semestriel

Publication du rapport financier

4. Allocation du budget pour le nouveau semestre

Répartition du budget entre les différentes activités

5. Bilan à la fin du semestre

Comparaison entre les projections et la réalité

Points de contact

Rapports d'analystes et feuilles Excel

Rapports d'analystes et feuilles Excel

Rapports d'analystes et feuilles Excel

Rapports d'analystes et feuilles Excel

Rapports d'analystes et feuilles Excel

Problèmes

RAS

Prévisions des pénalités de retard conservatives

RAS

Arbitrages budgétaires entre les programmes.

- Mauvais prévision impact budget des projets.
- Perte de confiance des actionnaires



Points de friction ⚡

1

Opérationnel

Manque de visibilité en temps réel pour les équipes opérationnelles

Désorganisation des équipes au sol due à l'imprévisibilité des arrivées réelles.

2

Expérience client

Insatisfaction client sur la prise en charge voyageur

Voyageur manque d'information et d'outil lui permettant d'adapter son planning personnel.

3

Financier

Difficulté à provisionner les coûts

Opacité financière sur le coût réel des retards, entraînant une instabilité budgétaire et un reporting complexe à justifier.

Synthèse

Problèmes

1. Fiabilité des prévisions de retard
2. Coûts de retard "en direct"
3. Satisfaction des passagers en retard
4. Gestion des équipes opérationnelles

Impacts

1. Fiabilité des rapports financiers
2. Augmentation des coûts liés aux retards
3. Baisse de la satisfaction et la fidélité
4. Augmentation des retards (effet domino)

Solutions

1. Prédiction des retards
2. Priorisation financière des décisions
3. Automatisation de la gestion client
4. Aide à la décision opérationnelle

Qui

Responsable du HUB, équipes opérationnelles au sol, CFO, Voyageurs

Priorisation

Améliorations	Nouveau business	Croissance via clients actuels	Satisfaction	Efficiencce interne	Score de priorisation
<p><u>Plannification stratégique</u> Amélioration des prévisions de retards à long terme pour stabiliser la planification budgétaire et opérationnelle</p>	1	1	2	2	6
<p><u>Coût financier</u> Réduction des coûts directs et des pénalités liés aux retards grâce à un arbitrage décisionnel en temps réel</p>	0	0	2	2	4
<p><u>Expérience Client :</u> Amélioration de la prise en charge des passagers et augmentation de l'efficacité des réacheminements</p>	1	2	2	0	5
<p><u>Ressources opérationnelles</u> Réduction de l'effet de propagation des retards sur les plannings des équipages pour garantir la continuité du service</p>	0	1	3	3	7

Les Solutions du marché

Solution métier



SOLUTIONS

SkyPro & Delta Professional
(Delta Air Lines)

DESCRIPTION

Une plateforme mobile poussant des alertes prédictives aux PNC (personnel naviguant : pilote, hôtesse, ...) et agents de porte.



Integrated Control Center (IOCC)

Fusion des centres de contrôle (avions, équipages, passagers) en une seule unité data-partagée.



Point-to-Point Recovery Logic

Stratégie de réseau limitant la propagation des retards (confinement du retard).

Solutions d'optimisation du Turnaround Time



Hub Control Center

Centralisation des données de l'aéroport de Dubaï pour optimiser le "Turnaround" (temps au sol) via une visibilité temps réel sur chaque étape (fuel, catering, bagages).



Connection Saver

Un outil data qui analyse si un vol peut être retenu quelques minutes pour attendre des passagers en correspondance sans impacter le reste du réseau.



Apron AI

Utilise le Machine Learning et la vision par ordinateur pour monitorer le "Turnaround" (temps au sol).

Solutions de Prédictions



SITA OptiClimb

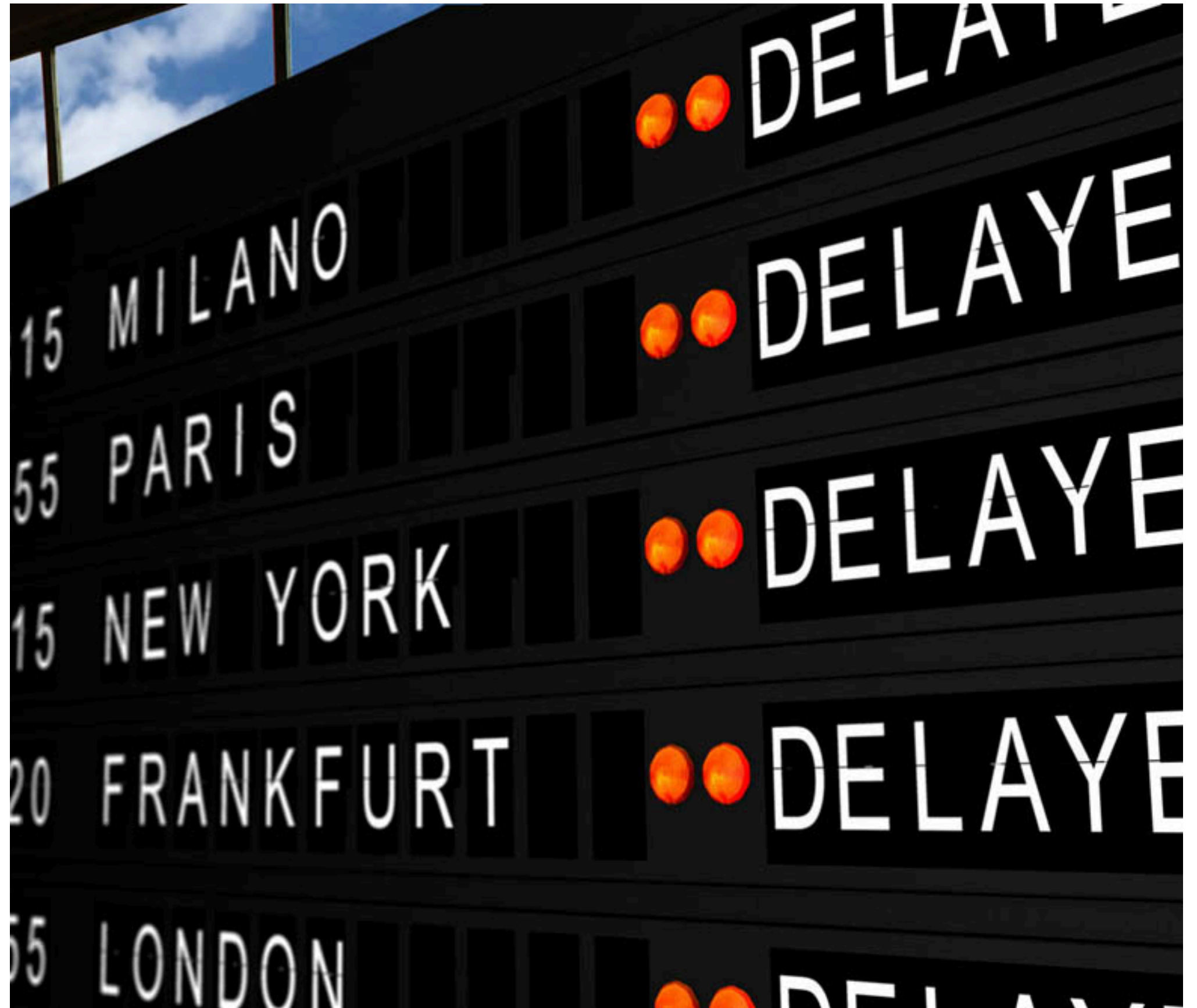
Utilise la donnée historique pour optimiser les montées de vol.

Solution retenue

Un outil de prédiction des retards de vols et d'aide à la gestion opérationnelle permettant au **Responsable de Hub**, d'affecter de manière optimale **les équipes au sol**

Objectifs :

- Réduire le turn-around time au sol des avions en retard
- Minimiser les effets domino des retards
- Réduire les coûts globaux d'exploitation



02

CONCEPTION

Cette étape définit les fondations de notre solution : choix technologiques, gouvernance des données et design des modèles, pour passer d'un ensemble de données brut à un outil d'aide à la décision intelligent



MVP

Périmètre

Récolte et organisation de la donnée

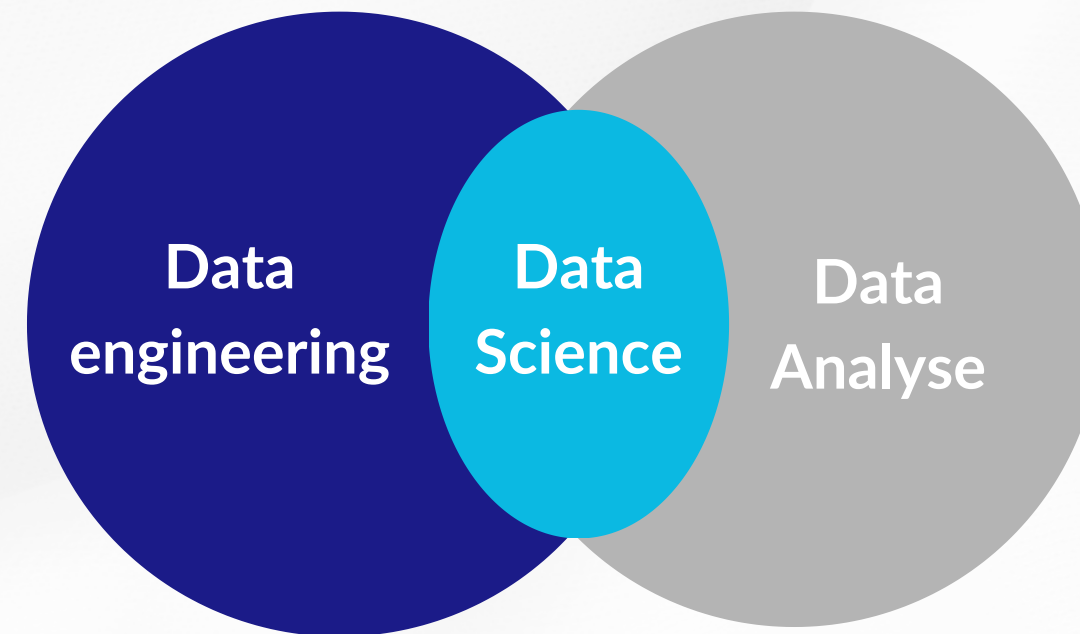
- Récolte des données de vols
- Organisation de la BDD

Développement du modèle de machine learning

- Création et déploiement d'un pipeline de prédiction des retards de vols

Création d'un tableau de bord

- Visualisation des données de retard de vol
- Visualisation des affectations des équipes opérationnelles : agent d'escale, maintenance, service client...



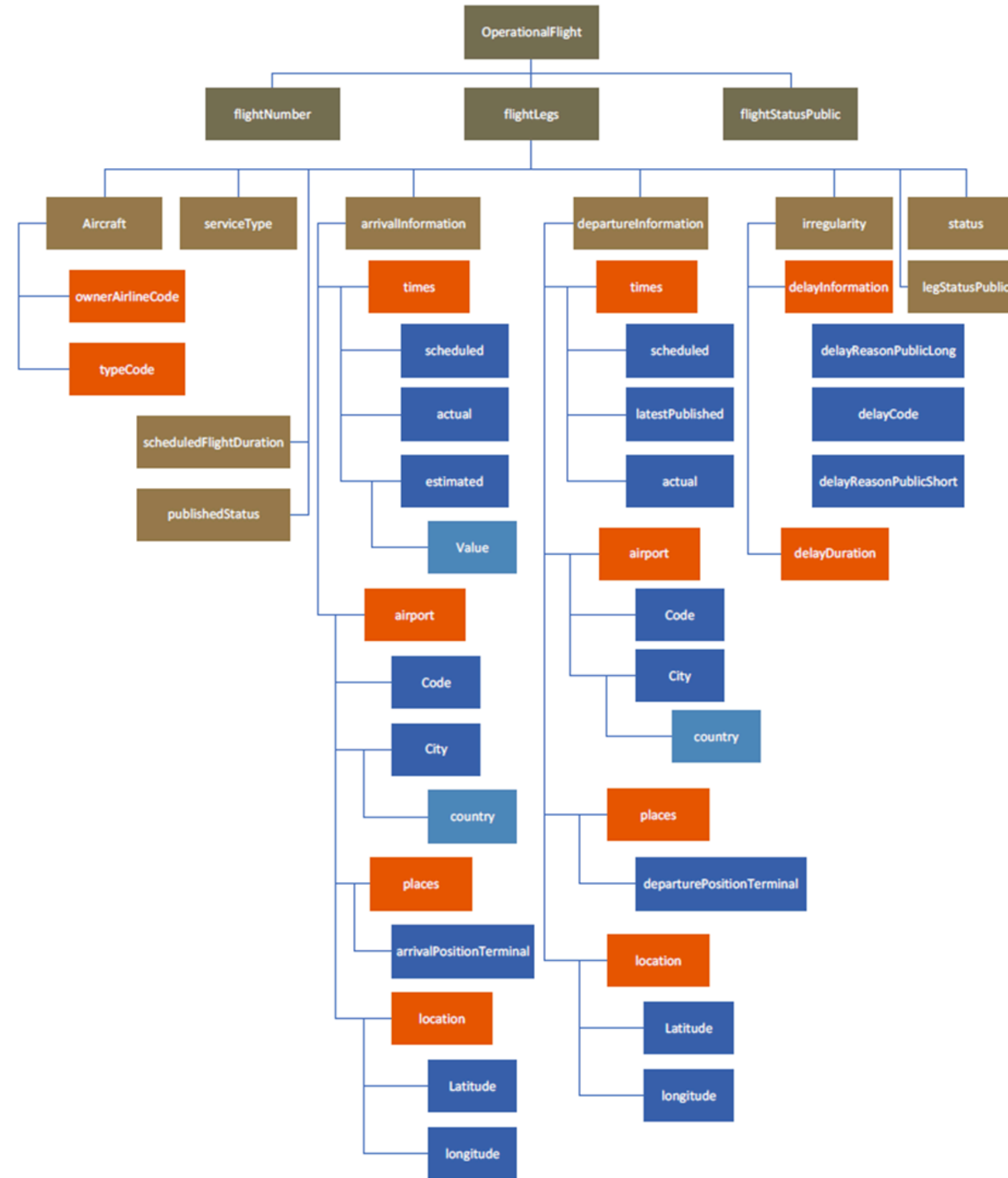
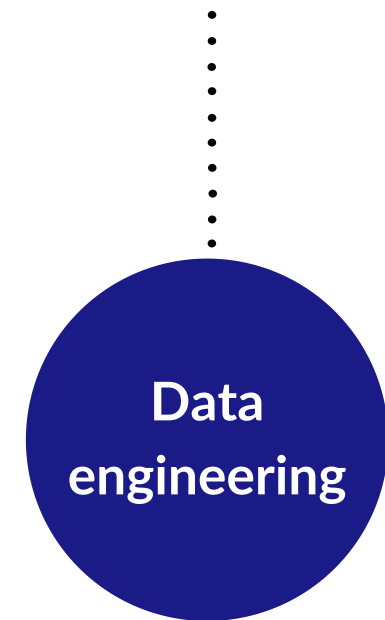
Hors périmètre

- **Intégration des données Météo** (très complexe et cause mineure de retards)
- **Intégration des risques géopolitiques et sociaux** dans le modèle de prédiction.

MVP

Récolte et organisation de la donnée brute

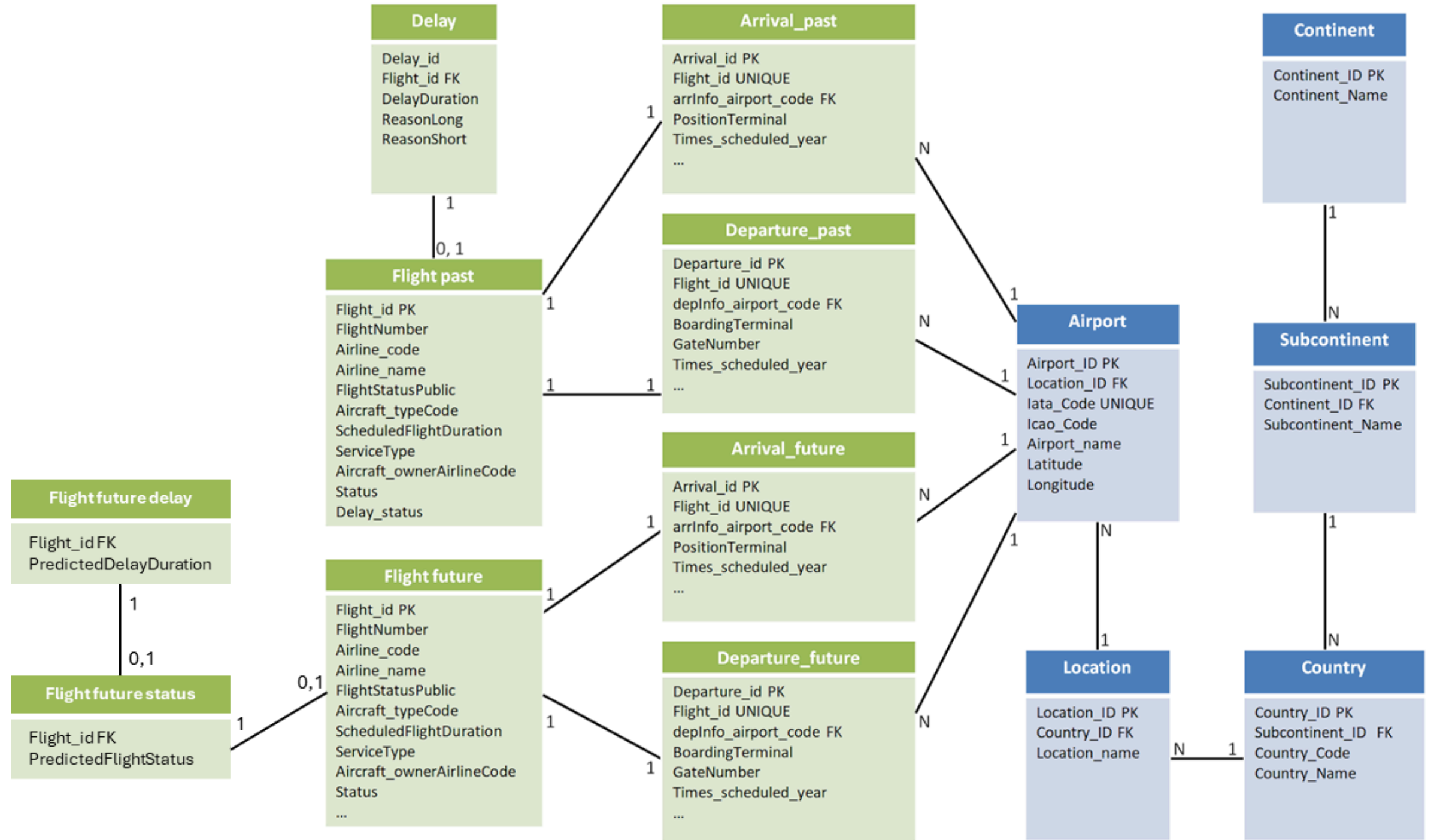
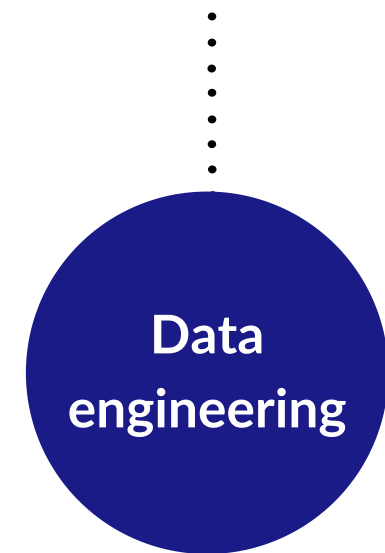
- Récolte journalière des données au format json par le biais de l'API interne Air France KLM
- Stockage des données pertinentes en base de donnée NoSQL MongoDB



MVP

Transformation et stockage des données sous forme tabulaire

- Liste interne à la compagnie aérienne de la description des aéroports de son réseau
- Restructuration des données sous forme tabulaire et import dans une base de données relationnelle SQL (Postgres)



Données dynamiques

Données statiques

MVP

Développement du modèle de machine learning
Entraînement d'un algorithme d'apprentissage machine pour la prévision du retard à l'arrivée en fonction des paramètres du vol.



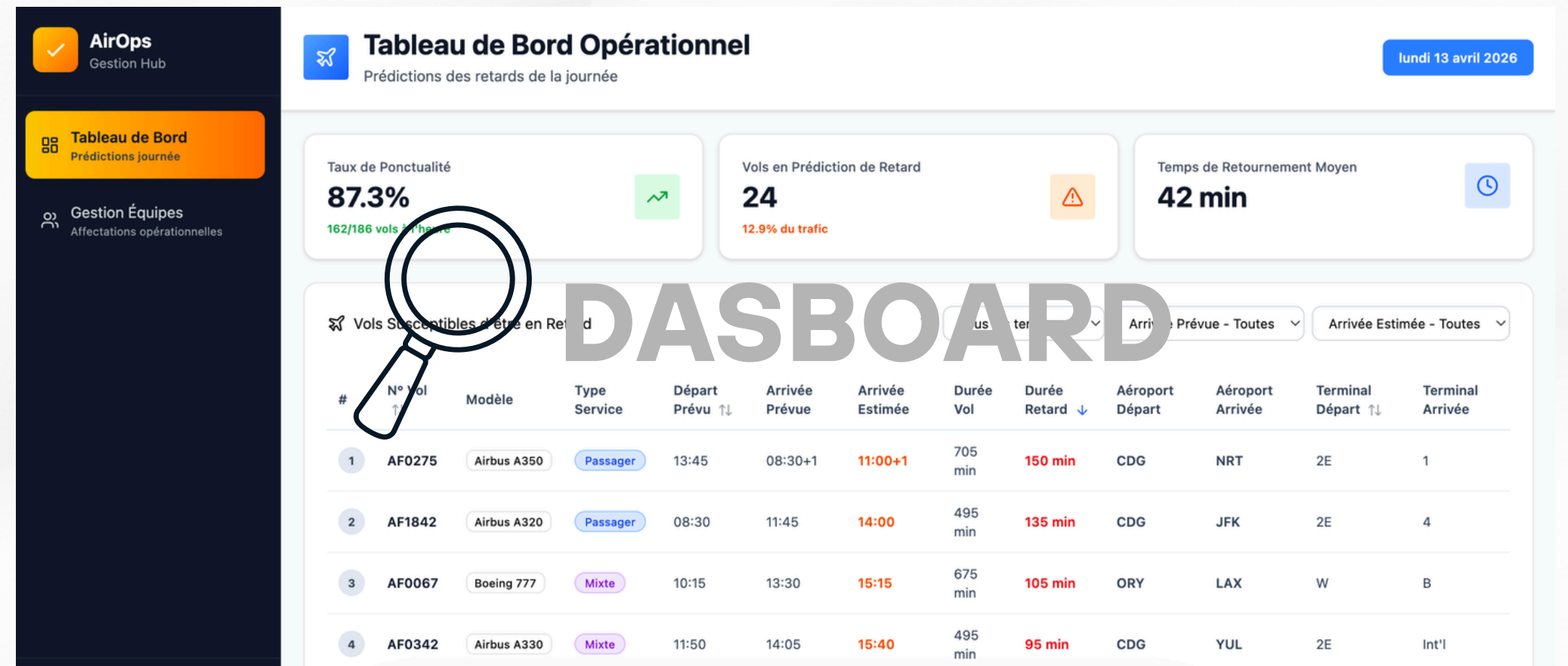
Features	Principales : <ul style="list-style-type: none">• Aéroport départ / arrivée• Type avion• Durée du vol• Heure de départ	Feature engineering : <ul style="list-style-type: none">• Durée vol calculée• Weekend / semaine• Saisonnalité• Période journalière
Problème	Classification	Régression
	Status du vol	Durée du retard
	ONTIME LATE CANCELLED	0 - 360 min
Algorithmes testés	Logistic_OVO (One vs One) Logistic_OVR (One vs Rest) DecisionTree RandomForest	LinearRegression XGBRegressor DecisionTreeRegressor RandomForestRegressor

MVP

Création d'un dashboard interactif PowerBI

- Prédiction de retards journaliers, avec classification des vols selon l'importance du retard prédit
- Planning des équipes du jour (affectation, zone, plage horaire...)

Data
Analyse



Maquettes

MVP

AirOps

Gestion Hub

Tableau de Bord

Prédictions journée

Gestion Équipes

Affectations opérationnelles



Tableau de Bord Opérationnel

Prédictions des retards de la journée

lundi 13 avril 2026

Taux de Ponctualité

87.3%

162/186 vols à l'heure



Vols en Prédiction de Retard

24

12.9% du trafic



Temps de Retournement Moyen

42 min



Vols Susceptibles d'être en Retard



Tous les terminaux



Arrivée Prévue - Toutes



Arrivée Estimée - Toutes



#	N° Vol ↑↓	Modèle	Type Service	Départ Prévu ↑↓	Arrivée Prévue	Arrivée Estimée	Durée Vol	Durée Retard ↓	Aéroport Départ	Aéroport Arrivée	Terminal Départ ↑↓	Terminal Arrivée
1	AF0275	Airbus A350	Passager	13:45	08:30+1	11:00+1	705 min	150 min	CDG	NRT	2E	1
2	AF1842	Airbus A320	Passager	08:30	11:45	14:00	495 min	135 min	CDG	JFK	2E	4
3	AF0067	Boeing 777	Mixte	10:15	13:30	15:15	675 min	105 min	ORY	LAX	W	B
4	AF0342	Airbus A330	Mixte	11:50	14:05	15:40	495 min	95 min	CDG	YUL	2E	Int'l



AirOps

Gestion Hub



Tableau de Bord

Prédictions journée



Gestion Équipes

Affectations opérationnelles



Planning des Équipes

Affectation opérationnelle de la journée par entité

vendredi 3 avril 2026

Maintenance

Opérations Sol

Service Client

Équipes Actives

3

Dans cette entité



Tâches Planifiées

7

Sur la journée



Heures Totales

24.5h

Planifiées



Membres Totaux

30

Personnel mobilisé



Vue d'ensemble des équipes

Équipe Sol Terminal 1

4 affectations planifiées

10 membres

Équipe Sol Terminal 2

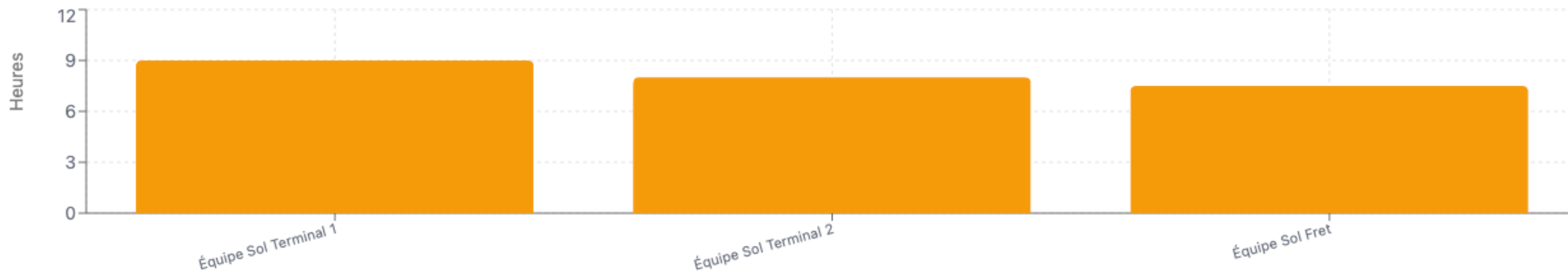
3 affectations planifiées

12 membres

Équipe Sol Fret

3 affectations planifiées

8 membres





AirOps

Gestion Hub



Tableau de Bord

Prédictions journée



Gestion Équipes

Affectations opérationnelles

Planning Détaillé de la Journée

06:00 -
09:00



Haute

Équipe Sol Terminal 1

Chargement bagages AF-8756

8 membres

T1-D05

09:00 -
12:00



Normal

Équipe Sol Terminal 2

Avitaillement AF-9201

10 membres

T2-C14



Normal

Équipe Sol Fret

Chargement cargo AF-4567

8 membres

Zone Fret

12:00 -
15:00



Normal

Équipe Sol Terminal 1

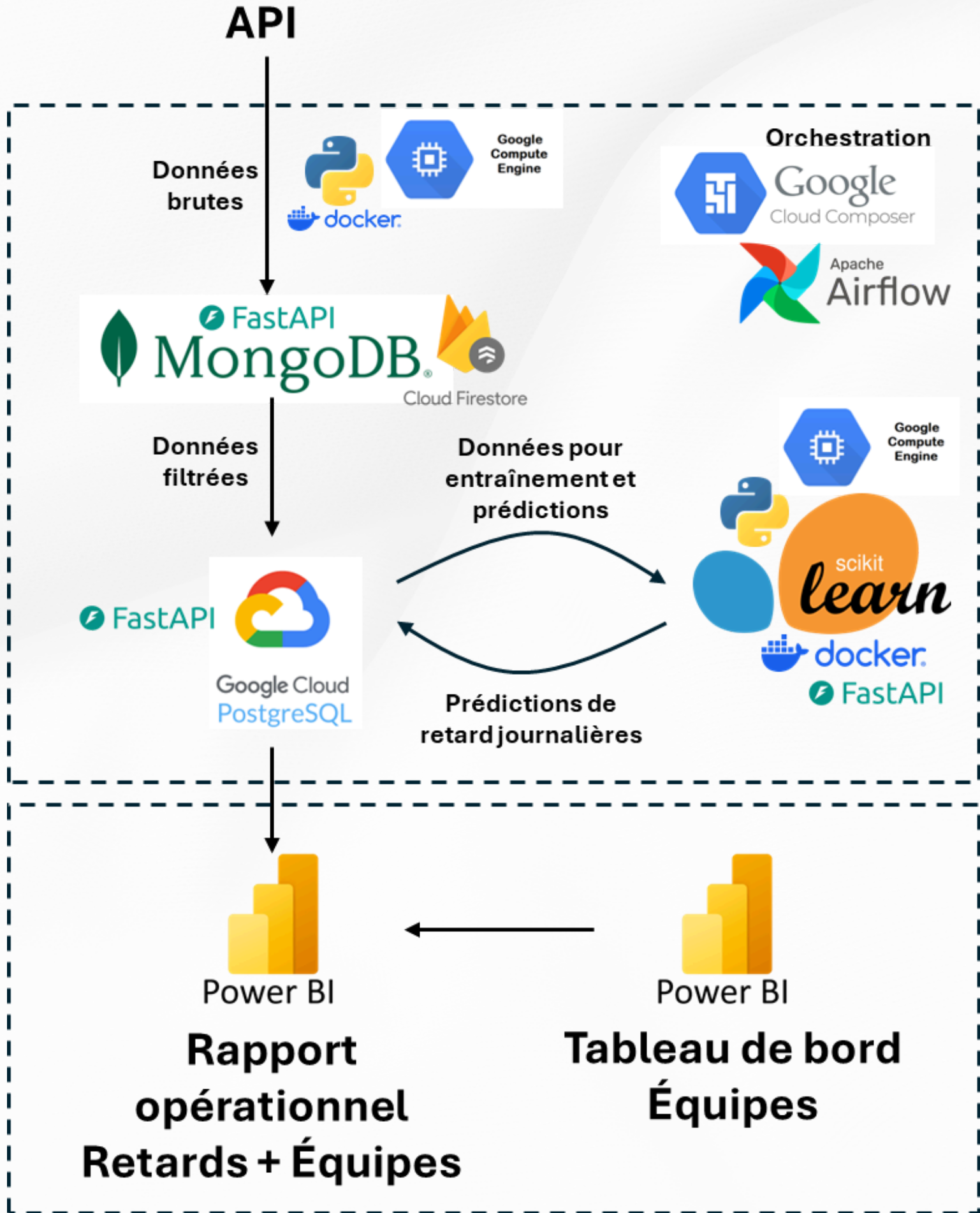
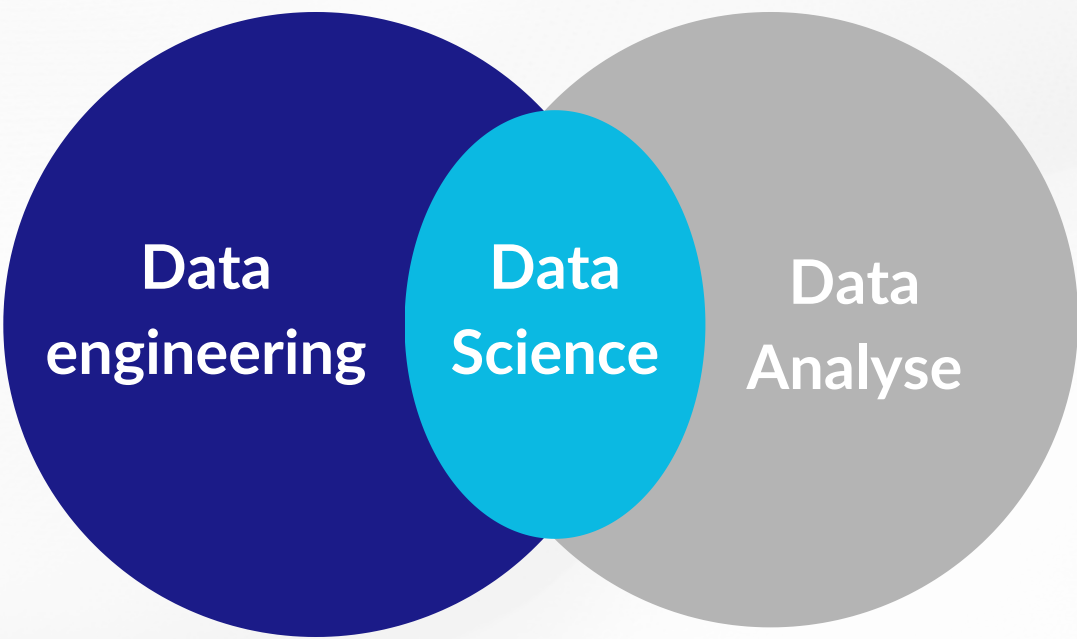
Nettoyage cabine AF-3421

7 membres

T1-C16

MVP

Architecture de la solution

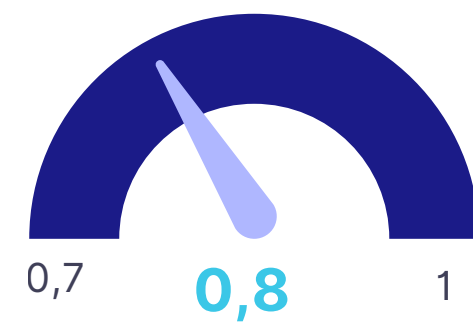


On-premise

KPI

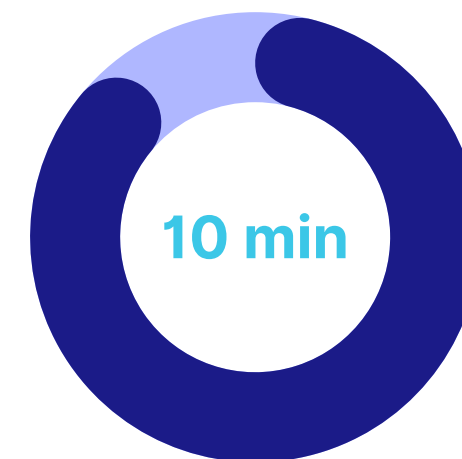
Fiabilité du modèle de prédiction des retards

F1



Mesure la fiabilité du modèle de prédiction de retard, en prenant en compte la précision et le rappel (recall)

**MAE
(Mean Absolute Error)**

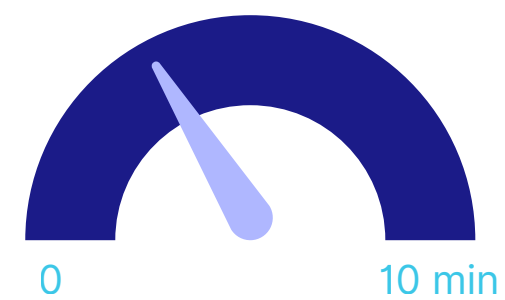


L'erreur moyenne en minutes

KPI

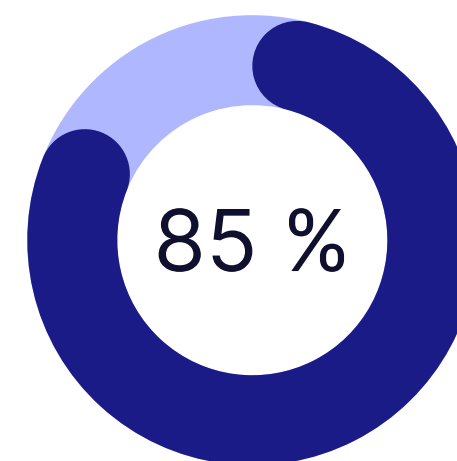
Efficacité opérationnelle : impact sur le TURNAROUND TIME

Turnaround Delay



La différence entre le temps d'escale prévu et le temps réel

Taux d'utilisation des ressources



Mesure le poids de la capacité des équipes dans le gestion d'un retard

RISQUE ET CONFORMITÉ

Risques données

- Risques liés à la disponibilité des données
 - l'API interne doit être accessible pour que la solution fonctionne
- Risques liés à la qualité des données
 - Des données de mauvaise qualité compromettent la fiabilité de la prédiction
- Risques liés à la complétude des données
- Risque de dérive des données

Conformité réglementaire

- Aucun risque identifié

Considérations éthiques

- Peur de perte de contrôle pour les responsables de hub/équipes opérationnelles si automatisation complète de la réallocation des ressources.
- Risque très limité en cas d'outil limité à l'aide à la décision.

PERSPECTIVES

Fonctionnalités futures

- Supervision du modèle et ré-entraînement automatique
- Recommandations d'affectation des ressources humaines et matérielles disponibles et/ou réallouables.
- Validation des affectations

The screenshot displays the 'AirOps Gestion Hub' interface. The left sidebar contains navigation options: 'Tableau de Bord (Vue temps réel)' and 'Recommandations (Allocation ressources)'. The main content area is titled 'Recommandations Personnel' and features three recommendation cards, each with an 'Activer' button.

Personnel

Équipements

Réacheminements

Recommandations Personnel

- Personnel au Sol** **Urgent** **Activer →**
Action: Mobiliser 5 agents supplémentaires
Localisation: Terminal 2E - Porte K42
Raison: Gestion des correspondances pour vol AF-7823
Impact: Réduction de 35% du temps de traitement
- Service Client** **Urgent** **Activer →**
Action: Ouvrir 2 comptoirs d'assistance
Localisation: Hall d'arrivée Terminal 2E
Raison: 68 passagers en correspondance manquée (AF-9201)
Impact: Temps d'attente réduit à 15 min
- Bagagistes** **Important** **Activer →**
Action: Affecter une équipe de 4 personnes
Localisation: Tarmac Zone C
Raison: Transfert urgent bagages vol AF-5634
Impact: Préservation de 60% des correspondances

03

LANCEMENT

Ce déploiement progressif ne se limite pas à une mise en production technique ; il englobe l'accompagnement des équipes et l'intégration de la solution



37 Sprints de 2 semaines
Durée du projet : 17 mois

PLANNING

- **Phase 1 : Cadrage & Socle Data (S1 – S7)**

Objectif : Définir la vision produit, identifier les sources et préparer le terrain d'exploration.

Activités : Cadrage, Backlog, mise en place de l'environnement technique, collecte, création des bases et Data Cleaning.

- **Phase 2 : Modélisation & Industrialisation MVP (S8 – S11)**

Objectif : Concevoir le moteur de prédiction et automatiser les processus (MLOps).

Activités : Tests de modèles, création des pipelines, déploiement de la stack MLFlow / Airflow / Prometheus.

- **Phase 3 : Déploiement & Pilotage Opérationnel MVP (S12 – S16)**

Objectif : Mettre le modèle entre les mains des utilisateurs et assurer la stabilité.

Activités : Déploiement Recette & Prod du MVP, monitoring Grafana, et premier volet d'Accompagnement au Changement.

- **Phase 4 : Extension Sentry – Planification (S17 – S26)**

Objectif : Intégrer les données de planification via Sentry pour affiner les prédictions long-terme.

Activités : Analyse des API, pipelines parallèles, Switchback Testing (expérimentation), KPIs spécifiques et déploiement en Canary.

- **Phase 5 : Extension GroundStar & Jumeau Numérique (S27 – S37)**

Objectif : Intégrer la gestion au sol et simuler des scénarios d'aide à la décision.

Activités : Développement d'un Jumeau Numérique, simulations "What-If" sur les opérations au sol, déploiement final et gestion de l'observabilité.

MVP

LOT 2

BUDGET

Expertise	Expérience estimée selon salaire	Coût
Data Engineer	1 an	75 000€
Data Analyst	2 ans	63 000€
Data Scientist	4 ans	82 500€
Cloud Engineer	0 ans	79 500 €
Machine Learning Engineer	6 ans	96 000 €

PERSONNEL	396 000€
------------------	-----------------

Formations Google Cloud - Skills Career Certificates pour 5 employés sur 18 mois	2617 €
--	--------

Fournisseur	Type de service	
Gitlab	Gitlab Free (5 users)	0,00 €
Google Cloud	Airflow	7 283,87 €
	Données archivées (traçabilité des prédictions, comparaisons historiques)	14,51 €
	Données générées (modèles prédictifs, alertes, logs systèmes)	116,28 €
	Données stockées NoSQL, dénormalisées	427,82 €
	Données stockées SQL, normalisées	66 680,28 €
	Machine virtuelle pour traitement données	4 690,50 €
	Monitoring (Prometheus) & Logging	140,40 €
Total pour Google Cloud		79 353,65 €
Microsoft	Power BI Pro pour 30 utilisateurs	6 534,00 €

INFRASTRUCTURE	85 887,65 €
-----------------------	--------------------

MERCI

À VOS QUESTIONS !

